

学校编码: 10384

分类号____密级____

学 号: 21720081152492

UDC____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

利用树木年轮学对川西亚高山森林生态系统土壤酸
度的重建研究

Study on Soil Acidity Reconstruction by Using
Dendrochemistry in the Subalpine Forest Ecosystems of
Western Sichuan

陈 磊

指导教师姓名: 郑海雷 教授

专 业 名 称: 植 物 学

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩时间: 2011 年 6 月

学位授予日期: 2011 年 6 月

答辩委员会主席: 严重玲 教授

评 阅 人: _____

2011 年 6 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(环境植物学与植物分子生物学)课题(组)的研究成果,获得(国家自然科学基金(30930076, 30770192, 30670317, 30271065)、教育部博士点基金(20070384033)、留学回国人员科研启动基金(2008-890)、厦门大学新世纪优秀人才支持计划(X07115)和“长江学者”启动基金)课题(组)经费或实验室的资助,在(郑海雷教授)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

2011年6月9日

厦门大学博士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

2011 年 6 月 9 日

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

摘要	I
Abstract	III
第 1 章 前 言	1
1.1 酸沉降与土壤酸化的概况	1
1.1.1 国内外酸沉降研究现状	1
1.1.2 土壤酸化的成因与危害	4
1.2 树木年轮学的研究进展	5
1.2.1 树木年轮学的形成与发展	5
1.2.2 树木年轮学在重建环境变化上的探索与应用	6
1.3 中国川西地区的森林健康状况	7
1.4 本研究的主要内容、目的和意义	8
第 2 章 材料与方 法	10
2.1 研究样地的基本概况	10
2.2 土壤的收集处理与指标的选择测定	11
2.2.1 土壤的收集处理	11
2.2.2 土壤化学指标的选择与测定方法	11
2.3 树木年轮的采集、预处理与数据的测定回收	12
2.3.1 树木年轮的采集和预处理	12
2.3.2 树木年轮学指标的的选择与测定方法	12
2.4 获取重建结果的计算方法	14
第 3 章 结果与讨论	15
3.1 研究样点的土壤化学特征	15
3.2 峨眉冷杉树木年轮宽度的测定结果与分析	16
3.3 峨眉冷杉树木年轮元素含量的测定结果与分析	17
3.3.1 元素含量历史变化的分析与讨论	17

3.3.2 整体元素含量地区差异的分析与讨论.....	19
3.4 峨眉冷杉木质部元素含量与土壤 pH 相关性的分析与讨论.....	20
3.4.1 土壤 pH 重建方程的建立.....	20
3.4.2 重建指标选择依据的分析和探讨.....	22
3.5 利用树木年轮化学对土壤 pH 进行重建的结果与讨论.....	23
3.6 对土壤 pH 值重建结果的分析验证.....	25
3.6.1 利用土壤历史数据的直接验证.....	25
3.6.2 利用峨眉冷杉树木年轮宽度的间接验证.....	25
3.7 关于土壤酸度重建树种选择的分析和探讨.....	26
3.7.1 峨眉冷杉和美容杜鹃树木年轮宽度的差异比较.....	26
3.7.2 峨眉冷杉和美容杜鹃年轮元素含量的差异比较.....	28
3.7.3 相关性分析与重建方程的建立.....	29
3.7.4 不同树种对土壤 pH 重建差异的比较与讨论.....	31
第 4 章 结论与展望.....	33
4.1 结论.....	33
4.2 展望.....	33
参考文献.....	35
附录.....	44
致谢.....	45

Content

Chinese Abstract	I
English Abstract.....	III
1 Introduction.....	1
1.1 General situation of acid deposition and soil acidification.....	1
1.1.1 Present study of acid deposition in China and the world.....	1
1.1.2 Cause and damage of soil acidification	4
1.2 Research progress of dendrochronology.....	5
1.2.1 Formation and development of dendrochronology.....	5
1.2.2 Exploration and application of environment factors reconstruction based on dendrochronology	6
1.3 Forest health in western Sichuan of China	7
1.4 Purpose and significance of this research	8
2 Material and Methods	10
2.1 Basic situation of the study area	10
2.2 Soil collection and measurement of selected indexes	11
2.2.1 Collection and treatment of soil samples	11
2.2.2 Determination of soil chemistry.....	11
2.3 Collection, pretreatment and determination of tree ring samples	12
2.3.1 Collection and pretreatment of tree ring samples	12
2.3.2 Determination of dendrochemistry	12
2.4 Calculation methods for soil acidity reconstruction	14
3 Results and Discussion.....	15
3.1 Soil chemistry characteristics at research sites	15
3.2 Measurement and analysis of tree ring widths.....	16
3.3 Measurement and analysis of tree ring cations	17
3.3.1 Historical changes of element content	17
3.3.2 Regional disparities of total element content.....	19

3.4 Analysis and discussion of relationships between the recent xylem elements and soil pH values	20
3.4.1 Establishment of the regression equations for soil pH reconstruction..	20
3.4.2 Selection principle of indexes for soil pH reconstruction.....	22
3.5 Results and discussion of soil pH reconstruction based on dendrochemistry.....	23
3.6 Analysis and verification of soil pH reconstruction.....	25
3.6.1 Direct verification by using historical record of soil pH values	25
3.6.2 Indirect verification by using tree ring widths	25
3.7 Analysis and discussion of species selection for soil acidity reconstruction	26
3.7.1 Difference comparison of tree ring widths between two species.....	26
3.7.2 Difference comparison of element content between two species	28
3.7.3 Correlativity analysis and establishment of the regression equations ..	29
3.7.4 Comparison and discussion of soil pH reconstruction between different species	31
4 Conclusion and Prospection	33
4.1 Conclusion	33
4.2 Prospection	33
Reference	35
Appendix.....	44
Acknowledgement.....	45

摘要

酸沉降是全球面临的重大环境问题之一,已经造成了许多地区的环境破坏和生态恶化。为此,人们对酸雨的性质及环境效应进行了广泛的研究,已经有了越来越深刻的认识。而作为引起森林树种衰退和死亡的主要原因,由酸沉降导致的土壤酸化问题更是备受关注。在大多数地区,历史监测资料的缺乏却给长期土壤酸化的评估带来了很多的困难,但是树木年轮元素含量的径向变动提供了检测林区土壤化学历史变动的潜力,从而可以用来克服这一困难。

基于以上几点,本研究为获取重建川西亚高山森林生态系统土壤酸化历史变迁的最佳指标,选取该地区峨眉山(严重酸沉降)和贡嘎山(相对洁净)两个样地,首先对 0-30 cm 深度的土壤样品进行了收集,测定了土壤酸度(pH)、有效盐基离子交换量(CEC_e)、盐基饱和度(BS)以及可交换性 Na, Mg, K, Ca, Mn 和 Al 的含量。与此同时,我们也对采集到的酸沉降敏感性树种峨眉冷杉(*Abies fabri*)和耐受性树种美容杜鹃(*Rhododendron calophyllum*)树木年轮样品的宽度和其中的元素(Ca, Mg, Mn, Al, Sr 和 Ba)的含量进行了测定,并计算得到它们的摩尔比率(\log_{10} -转换得到),以分析最近六年木质部中的元素含量以及它们的摩尔比率同实测得到的土壤 pH 值数据之间的相关关系,从而建立逐步回归方程,最后基于各年轮木质部中已有树木年轮化学信息计算得到所有时间序列上的土壤 pH 值数据。主要结果如下:

对比峨眉山和贡嘎山两个样地峨眉冷杉树种的研究发现:与实测土壤 pH 值表现出显著相关性的年轮单元素指标在峨眉山表现为木质部 Ca, Mg 和 Mn 的浓度,在贡嘎山则只有木质部 Mn 浓度;与实测土壤 pH 值表现出显著相关性的元素摩尔比率指标在峨眉山表现为木质部 Ca/Mg, Ca/Mn, Mg/Mn, Mg/Al 和 Mn/Al, 在贡嘎山则表现为木质部 Ca/Mg, Ca/Mn, Mg/Mn 和 Mn/Al。

我们用两个研究样地与实测土壤 pH 值相关性最高的峨眉冷杉木质部 Ca/Mg ($r = -0.84, P < 0.01$) 和 Ca/Mn ($r = 0.87, P < 0.01$) 的摩尔比分别重建了峨眉山和贡嘎山的土壤 pH 值的历史变化。重建结果的有效性借助已发表的近 20 多年的两地土壤 pH 值历史数据进行了直接的验证,两地树木年轮平均宽度与重建得到的 pH 历史变化之间显著的相关关系,因此间接反映了元素摩尔比率指示土壤化

学的有效性。

在峨眉山样地内，我们还对峨眉冷杉的共优势种美容杜鹃的树木年轮化学进行了分析，发现与实测土壤 pH 值表现出显著相关性的单元素指标表现为 Mg 和 Mn，摩尔比率指标只有 Ca/Mg 和 Ca/Ba，显著性指标在数量上少于峨眉冷杉。用与实测土壤 pH 值相关性最高的美容杜鹃木质部 Ca/Mg ($r = -0.82, P < 0.01$) 同样对川西亚高山森林生态系统土壤 pH 值的历史变化进行了重建。重建结果与已发表的近 20 多年的土壤 pH 值历史数据不符，不具备有效性，表明酸沉降耐受性树种美容杜鹃的树木年轮信息不能用于土壤酸度的重建。

总之我们认为，与单独的元素含量相比，峨眉冷杉木质部中的元素摩尔比更有利于川西亚高山森林生态系统土壤酸度的重建；与美容杜鹃相比，峨眉冷杉表现出了在指示地区土壤酸化历史上的优越性，这可能与不同树种响应酸沉降的敏感性差异有关。

关键词：树木年轮化学；酸沉降；土壤 pH 重建；峨眉冷杉；美容杜鹃

Abstract

Acid deposition arose as one of the global environmental problem, which has caused serious environmental damage and ecological degradation in many areas. Since then, people carried out many researches, and there have been several knowledge in the properties and the effects of acid rain on environment. Presented as a main reason for the decline and mortality of forest species, soil acidification mainly caused by acid deposition has become a considerable concern in the world. Although there is lack of historical monitoring data for evaluating the long-term changes in soil acidity in most areas, we can overcome it by virtue of the radial variations in element contents in tree rings which offer the potential to detect the changes in soil chemistry.

According to the points stated above, in order to obtain best suitable indicator of dendrochemistry for soil acidity reconstruction, we chose two distinct sites (severe acid deposition site-Emei Mountain and clean site-Gongga Mountain) in the subalpine forest ecosystems of western Sichuan. We sampled soil at 0-30 cm depth and measured soil acidity (pH), base saturation (BS), effective cation exchange capacity (CECe) and exchangeable Na, Mg, K, Ca, Mn and Al concentration in Emei Mountain and Gongga Mountain. The tree ring widths and element contents of Ca, Mg, Mn, Al, Sr and Ba were determined in tree rings of *Abies fabri* (sensitive to acid deposition) and *Rhododendron calophyllum* (tolerant to acid deposition) at the two sampling sites. Their molar ratios (\log_{10} -transformed) were also computed for obtaining the correlations for element contents and their molar ratios of the last six-year xylem with actually observed soil pH data. Then the stepwise regressions were performed to select the best indicator of soil pH. Finally, based on those parameters in the tree rings, soil pH values of all time series were computed by the regression equations. The main results of our research are as follows:

Comparative Study of *Abies fabri* between the two sampling sites was shown as: The correlations of the recent xylem element contents with actual soil pH values were significant for Ca, Mg and Mn in Emei Mountain, and only for Mn in Gongga

Mountain. Significant correlations between xylem molar ratios and soil pH values were revealed for Ca/Mg, Ca/Mn, Mg/Mn, Mg/Al and Mn/Al in Emei Mountain, and for the same ratios except Mg/Al in Gongga Mountain.

The highest correlation parameters of xylem Ca/Mg ($r = -0.84$, $P < 0.01$) and Ca/Mn ($r = 0.87$, $P < 0.01$) of *Abies fabri* were ultimately selected to reconstruct the historical changes of soil pH in Emei Mountain and Gongga Mountain, respectively. The validity of the soil pH reconstruction could be directly verified by published actual soil pH data in recent 20 years in Emei Mountain and Gongga Mountain respectively. Significant correlations were also revealed between reconstructed pH values and the mean ring widths at both sites, which indirectly demonstrated the validity of soil pH reconstruction.

We also investigated the dendrochemistry of *Rhododendron calophytum* (co-dominant with *Abies fabri*) in Emei Mountain. Significant correlations were revealed for Mg and Mn between the recent xylem element contents and actual soil pH values, and for Ca/Mg and Ca/Ba of correlation parameters in xylem molar ratios. Indicators with significant correlation were less than *Abies fabri* in quantity. The highest correlation parameters of xylem Ca/Mg ($r = -0.82$, $P < 0.01$) in *Rhododendron calophytum* had also been selected to reconstruct the historical changes of soil pH in the subalpine forest ecosystems of western Sichuan. No significant correlations were revealed between reconstructed pH values and actual soil pH data in recent 20 years, which directly demonstrated the invalidity of *Rhododendron calophytum* for soil pH reconstruction, and its tree ring information is not suitable to reconstruct soil acidity.

In a word, we concluded that the xylem element molar ratios in the xylem of *Abies fabri* have an advantage compare to the single element in soil acidity reconstruction in the subalpine forest ecosystems of western Sichuan. *Abies fabri* was superior to *Rhododendron calophytum* for indicating the historical changes of soil acidity at the study area due to its characteristic of high sensitive to acid deposition.

Keywords: dendrochemistry; acid deposition; soil pH reconstruction; *Abies fabri*; *Rhododendron calophytum*

第1章 前言

1.1 酸沉降与土壤酸化的概况

1.1.1 国内外酸沉降研究现状

1.1.1.1 酸沉降的概念、来源与危害

酸沉降指大气中的酸性物质迁移到地表造成污染的现象,其形式包括雨、雪、霜、雹、雾和露等多种^[1]。因降雨是降水的主要形式,且直观又易监测,所以狭义的“酸雨”最早引起注意。“酸雨”通常是指 pH 低于 5.6 的降水,这一概念在 1872 年由英国化学家 Robert A. Smith 首次提出,是大气污染的一种表现形式^[2]。

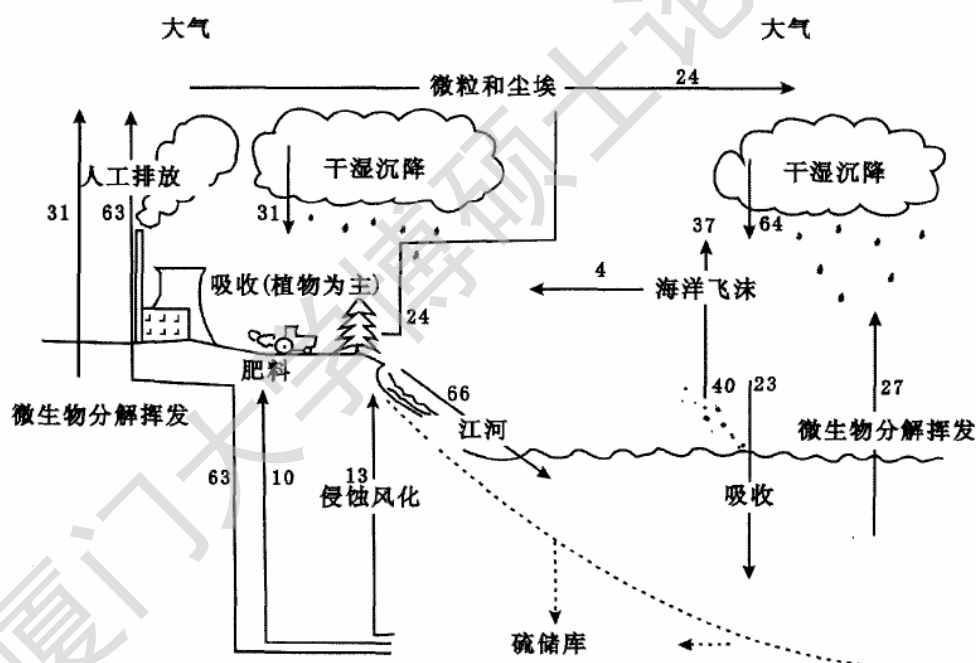
图 1.1 全球硫循环^[3, 4]

Figure 1.1 Fluxes of sulphur in different forms between global compartments

注: 图中标示数字单位为 10^6 t。

酸雨的来源主要分为两大类酸性物质：含硫化合物和含氮化合物，包括它们的无机和有机形态^[3]。在人类经济发展过程中，大量化石燃料的燃烧向大气排放的 NO_x 和 SO_2 ，是形成酸雨的主要气态污染物前体。它们会在大气中直接或间接氧化成 HNO_3 和 H_2SO_4 ，这些酸性产物经过复杂的大气化学和物理反应，最终降落下来形成酸雨。该过程与大气硫、氮循环联系紧密，涉及到生物圈、水圈、岩石圈和大气圈，还同时深受人类活动的影响，例如硫循环（图 1.1）。硫是植物生长必需的营养元素之一，也是一种大气污染物。大气中的硫化合物来自天然源的释放和人为活动的排放，这些含硫气体进入大气环境后在大气中迁移转化，最终通过干湿沉降又回到地面，从而对大气环境产生重要影响。过量的硫沉降往往能引起土壤和水分的酸化，因此了解大气硫的动态以及生态系统硫循环过程是非常重要的。已有许多研究证明示踪植物中硫的组成特征，成为了解析区域环境大气硫污染的来源和迁移机制的独特而又有力的工具，为酸雨的治理提供了重要的借鉴意义^[5-8]。

20 世纪 60 年代以来，随着人类活动的大规模增加，化石燃料的消耗逐年升高，导致了 NO_x 及 SO_2 的大量排放。这一切使得酸雨污染大幅度加速发展，其波及范围也越来越广，已经导致许多地区的生态环境严重恶化，并成为制约经济社会可持续发展的主要因素之一，引起了人们的广泛关注^[9]。其中，越来越多的研究集中在长期酸雨作用对森林生态系统的影响上。近来许多研究表明，酸沉降是使许多国家的一些森林衰退和死亡，并造成严重危害的主要原因^[10]。酸沉降对森林生态系统的危害包括直接危害和间接危害^[11]：直接危害表现在它直接作用于树木，致使树叶的皮质或蜡质和气孔受到伤害，体内营养元素发生流失，正常的光合作用以及物质代谢过程受到干扰和破坏，最终引发植被的衰退或死亡。间接危害表现在酸沉降会加速土壤盐基离子的淋溶，导致土壤养分的缺乏，同时会增加可溶性 Al 的含量，致使植物生长因铝毒而受到抑制；酸沉降还可能引起森林病虫害的增加与树木抗病虫能力的下降，造成树木生长衰退；除此之外，酸沉降引起的土壤酸化会对微生物的数量和组成产生严重的影响，阻碍根瘤菌和固氮菌的存活，从而干扰森林生态系统对养分的循环利用。酸沉降对森林生态系统的影

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库